

УДК 530.12

© Владимиров Ю. С., 2020

ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ, ГРАВИТАЦИЯ И ПРИНЦИП МАХА

Владимиров Ю. С.^{a,b,1}

^a Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, 119991, Россия.

^b РУДН, г. Москва, 117198, Россия.

В статье показано, что в последовательном реляционном подходе к физической реальности гравитационные взаимодействия имеют вторичный характер, производный от электромагнетизма. Этот вывод согласуется с рядом идей, высказанных классиками фундаментальной физики в духе принципа Маха в первой половине XX века.

Ключевые слова: Реляционный подход к физической реальности, концепция дальнего действия, принцип Маха, электромагнетизм, гравитация, теория систем отношений, массы элементарных частиц.

ELECTROMAGNETISM, GRAVITATION AND MACH'S PRINCIPLE

Vladimirov Yu. S.^{a,b,1}

^a Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia.

^b RUDN University, Moscow, 117198, Russia.

In the article, it is shown that in a consistent relational approach to physical reality gravitational interactions are of a secondary nature derivable from electromagnetism. This conclusion is in agreement with a number of the ideas proposed by the classics of fundamental physics early in the 20th century in the spirit of Mach's principle.

Keywords: Relational approach to physical reality, action-at-a-distance concept, Mach's principle, electromagnetism, gravitation, theory of reference frames, elementary particle masses.

DOI: 10.17238/issn2226-8812.2020.1.22-38

Введение

В настоящее время общепринято рассматривать гравитационное взаимодействие в рамках общей теории относительности (ОТО). При этом приходится сталкиваться с рядом неразрешенных проблем, над которыми безуспешно размышляли многие известные физики. К таким проблемам относятся проблема совмещения принципов общей теории относительности и квантовой теории, определение энергии гравитационного поля, представления о темной энергии и темной материи, гипотеза Большого взрыва и многое другое. Нет сомнений в плодотворности ОТО в неких ограниченных масштабах, однако нельзя забывать высказывания В.А. Фока и некоторых других классиков о пределах применимости ОТО.

В связи с длительной пробуксовкой в решении названных фундаментальных проблем возникает потребность обратиться к анализу оснований современных представлений о физической реальности. Проведенный анализ вскрывает наличие трех основных подходов к описанию реальности: 1) теоретико-полевого, в рамках которого описывается теория поля и физика микромира, в частности, квантовая теория, 2) геометрического, на котором основана ОТО и ее многочисленные обобщения, а также 3) реляционного, основанного на идеях Г. Лейбница, Э. Маха и ряда других

¹E-mail: yusvlad@rambler.ru

мыслителей. Следует подчеркнуть тот факт, что экспериментально наблюдаемые выводы ОТО можно описать в рамках всех трех названных подходов.

Особого внимания заслуживает реляционный подход, оказавшийся в XX веке вне должного внимания, однако трижды сыгравший важную роль: при создании специальной теории относительности, при формировании ОТО, когда Эйнштейн руководствовался принципом Маха, и при создании Р. Фейнманом своеобразной фейнмановской формулировки квантовой механики. В последнее время ряд физиков все чаще обращает внимание на идеи реляционного подхода. Среди таких физиков следует назвать Б. Грина [1], Ли Смолина [2], Карло Ровелли [3] и ряда других, а в не столь отдаленном прошлом призывали обратиться к реляционным идеям Р. Фейнман, Ф. Хойл, Дж. Нарликар, Ван Данциг и т. д. В нашей стране сторонниками реляционного подхода были Я.И. Френкель, И.Е. Тамм, Г.В. Рязанов и некоторые другие физики.

В связи с этим в данной статье предлагается взглянуть на природу гравитационных взаимодействий с позиций реляционного подхода.

Но прежде всего напомним три ключевые неразрывно связанные друг с другом составляющие реляционного подхода.

Во-первых, это реляционное понимание природы пространства-времени, т. е. его трактовку не как априорно заданной самостоятельной физической сущности (категории), а как абстракцию от совокупности отношений (расстояний, интервалов) между физическими объектами (событиями с их участием). В связи с этим уместно напомнить высказывание А. Эйнштейна о Махе: "Мах в девятнадцатом столетии был единственным, кто серьезно думал об исключении понятия пространства, которое он пытался заменить представлением о всей сумме расстояний между всеми материальными телами"[4].

Во-вторых, это описание физических взаимодействий на основе концепции дальнего действия, альтернативной общепринятой в теории поля и в ОТО концепции ближнего действия. Так, отечественный физик-теоретик Я.И. Френкель писал: "Позвольте прежде всего доказать вам, что физическим абсурдом является именно представление о ближнем действии, а физической реальностью, физически обоснованным является представление о дальнем действии. Как вам ни трудно представить себе это дальнее действие, да еще запаздывающее, все же нам необходимо сделать соответствующее усилие для того, чтобы освободиться от тех привычек, которые сложились у нас, когда наши познания были недостаточны"[5].

В-третьих, это принцип Маха, трактуемый как обусловленность свойств наблюдаемых объектов от глобальных свойств всего окружающего мира. Американский физик-теоретик Р. Дикке о принципе Маха писал: "Итак, мы видели, что у Маха много лиц – почти столько же, сколько было исследователей, рассматривающих принцип Маха. Будучи основан на глубоких философских идеях, этот принцип является интуитивным, и его трудно возвысить (или, если угодно, низвести) до уровня количественной теории. Но то, что самого Эйнштейна к его чрезвычайно изящной теории гравитации привели соображения, вытекающие из этого принципа, говорит о многом. Принцип Маха может быть очень полезным для физиков будущего"[6].

В данной статье показано, что на основе развитого в нашей стране математического аппарата теории систем отношений открывается возможность конкретно реализовать "или если угодно, низвести" все три составляющие реляционного подхода "до уровня количественной теории".

При этом вскрывается новый взгляд на природу гравитационных взаимодействий, принципиально отличный от трактовок в рамках двух других подходов. Напомним, что в теоретико-полевого подходе гравитация и электромагнетизм выступают "на равной ноге различаясь лишь тензорным рангом потенциалов $g_{\mu\nu}$ и A_μ на фоне плоского пространства-времени. В геометрическом подходе (в рамках 5-мерной модели гравитации и электромагнетизма Калуцы) электромагнетизм описывается дополнительными компонентами 5-мерного метрического тензора $G_{5\mu}$, фактически являясь своеобразным обобщением теории гравитации. А в реляционном подходе, как будет показано ниже, наоборот, гравитация имеет вторичный характер, выступает как своеобразный квадрат электро-

магнитных взаимодействий. Исходя из этого, начнем с описания электромагнитных взаимодействий в рамках реляционного подхода.

1. Теория прямого электромагнитного взаимодействия

В литературе реальное воплощение концепции дальнего действия представлено в виде теорий прямого межчастичного взаимодействия на фоне априорно заданного классического пространства-времени. Эти теории имеют эклектический характер, поскольку концепция дальнего действия присуща реляционной парадигме, а факт построения теории на фоне готового пространства-времени соответствует теоретико-полевой парадигме. Первой была построена теория прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия, а затем этот вид описания взаимодействий был распространен на случаи прямого гравитационного и прямого скалярного взаимодействий.

В этих теориях существенно изменяется принципиальная схема теоретических рассуждений. В них отсутствует категория поля переносчика взаимодействий между частицами, которую принято вводить в теоретико-полевой парадигме. Вместо категории поля используется обобщенная категория ток-токовых отношений.

Ключевым понятием этой теории, объединяющим в себе характеристики двух обобщенных категорий, является классическое действие S . Уравнения движения частиц, как и в иных парадигмах, находятся посредством вариационного принципа $\delta S = 0$, который в терминах реляционной парадигмы именуется *принципом Фоккера*.

1.1. Принцип Фоккера для электромагнитных взаимодействий

Напомним основные положения принципа Фоккера в его традиционной формулировке, используемой А. Фоккером, Р. Фейнманом, Дж. Уилером и рядом других авторов (см. [7]).

1. Для двух выделенных частиц i и k классическое действие $S_{i,k}$ представляется в виде

$$S_{i,k} = S_0(i) + S_{int}(i, k) + S_0(k) \equiv S_0 + S_{int}(i, k), \quad (1)$$

где $S_0(i)$, $S_0(k)$ и $S_0 = S_0(i) + S_0(k)$ действия для "свободных" выделенных частиц (в общепринятой терминологии). Сразу же подчеркнем, что в последовательной реляционной концепции в принципе нет свободных частиц.

2. Для случая *электромагнитного взаимодействия* действие $S_{int}^{(e)}(i, k)$ имеет вид

$$S_{int}^{(e)}(i, k) = -\frac{1}{c} \int \int \eta_{\mu\nu} j_{(i)}^\mu j_{(k)}^\nu \delta(s^2(i, k)) ds_i ds_k, \quad (2)$$

где e_i и e_k – электрические заряды двух частиц, $j_{(i)}^\mu = e_i dx_i^\mu / ds_i$ – вектор 4-тока частицы с индексом i ; ds_i , ds_k – смещения вдоль мировых линий частиц; $\eta_{\mu\nu}$ – метрический тензор пространства-времени Минковского. Интегрирование производится вдоль мировых линий выделенных частиц. Поскольку в классической теории полагается, что каждая частица участвует в огромном количестве событий, то это обосновывает ее описание в виде непрерывной мировой линии.

Под знаком интеграла в (2) стоят два инвариантных парных отношения, соответствующие двум обобщенным категориям. Слагаемое $\eta_{\mu\nu} j_{(i)}^\mu j_{(k)}^\nu$ – скалярное произведение токов двух взаимодействующих частиц – характеризует ток-токовое отношение. Выражение $s^2(i, k)$ во втором слагаемом под интегралом – квадрат интервала между точками на мировых линиях двух частиц – характеризует пространственно-временное отношение, а дельта-функция от нее представляется в виде:

$$\delta(s^2(i, k)) = \delta(c^2 t_{ik}^2 - r_{ik}^2) = \frac{1}{2|r_{ik}|} [\delta(ct_{ik} - r_{ik}) + \delta(ct_{ik} + r_{ik})], \quad (3)$$

где t_{ik} и r_{ik} – промежуток времени и расстояние между положениями взаимодействующих частиц.

3. Представление δ -функции в виде двух частей справа в (3) обычно трактуется следующим образом: при фиксированном положении частицы с номером i в некоторый момент времени t_0 (на ее мировой линии) взаимодействие между частицами происходит при двух положениях второй частицы: в предшествующий момент t' и в будущий момент t'' , соответствующих двум пересечениям конусов прошлого и будущего (с вершиной на мировой линии первой частицы в момент t_0) с мировой линией второй частицы.

4. От теории прямого межчастичного взаимодействия можно перейти к общепринятым в теории поля потенциалам электромагнитного поля, которые теперь имеют не первичный, а вторичный (вспомогательный) характер. Для этого из (1), записанного для системы из всех заряженных частиц мира, следует выделить одну частицу, например, с индексом i и записать для нее действие в более привычной форме

$$S_i^{(e)} = -m_i c \int ds_i - \frac{1}{c} \sum_{k \neq i} \int j_{(i)}^\mu A_\mu(i, k) ds_i, \quad (4)$$

где введено обозначение для отдельного вклада

$$A_\mu(i, k) = \int j_{(k)\mu} \delta(s^2(i, k)) ds_k, \quad (5)$$

интерпретируемого как векторный электромагнитный потенциал, создаваемый зарядом e_k в том месте, где находится заряд e_i . Очевидно, что в это определение электромагнитного потенциала входят лишь характеристики частиц (их положения, скорости и заряды).

Объединяя вклады всех заряженных частиц, получаем суммарный электромагнитный потенциал $A_\mu(i) = \sum_{k \neq i} A_\mu(i, k)$ в месте нахождения заряда с индексом i .

5. Таким образом, приходим к выводу, что в теории прямого электромагнитного взаимодействия типа Фоккера–Фейнмана

1) нет потенциалов поля в точках пространства-времени, где отсутствуют частицы, а, следовательно, и нет полевых уравнений Максвелла;

2) потенциалы электромагнитного взаимодействия можно ввести в местах расположения заряженных частиц и для них выполняются тождества, соответствующие уравнениям Максвелла.

1.2. Реляционная трактовка принципа Фоккера

Взглянем на теорию прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия с позиций последовательного реляционного подхода [8, 9], учитывая тот факт, что под знаком интеграла в (2) фактически стоит произведение двух парных отношений: ток-токового и пространственно-временного. Каждое из этих отношений характеризуется своим законом.

1. Согласно работам Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко [10] закон 4-мерных пространственно-временных отношений записывается в виде равенства нулю определителя Кэли–Менгера, элементами которого являются парные отношения (квадраты интервалов) между 6 произвольными точками-событиями:

$$\Phi_{(6)} \equiv D_{ikabcd} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & s_{ik}^2 & s_{ia}^2 & s_{ib}^2 & s_{ic}^2 & s_{id}^2 \\ 1 & s_{ki}^2 & 0 & s_{ka}^2 & s_{kb}^2 & s_{kc}^2 & s_{kd}^2 \\ 1 & s_{ai}^2 & s_{ak}^2 & 0 & s_{ab}^2 & s_{ac}^2 & s_{ad}^2 \\ 1 & s_{bi}^2 & s_{bk}^2 & s_{ba}^2 & 0 & s_{bc}^2 & s_{bd}^2 \\ 1 & s_{ci}^2 & s_{ck}^2 & s_{ca}^2 & s_{cb}^2 & 0 & s_{cd}^2 \\ 1 & s_{di}^2 & s_{dk}^2 & s_{da}^2 & s_{db}^2 & s_{dc}^2 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (6)$$

Это выражение означает равенство нулю 5-мерного объема (симплекса), образованного 6 точками-событиями.

Парные отношения в этом законе можно представить (в каноническом базисе) через параметры (декартовы координаты) точек-событий общепринятым образом

$$s_{ik}^2 = (x_i^0 - x_k^0)^2 - \sum_{l=1}^3 (x_i^l - x_k^l)^2 \equiv \tau_{ik}^2 - l_{ik}^2. \quad (7)$$

Легко проверить, что закон (6) выполняется тождественно при подстановке в него (7).

Существенным свойством реляционной теории пространства-времени является тот факт, что все понятия геометрии строятся из миноров определителя закона.

2. Закон ток-токовых отношений соответствует реляционному закону для пространства Лобачевского (для пространства скоростей), являющегося одним из видов закона, также найденного в работах группы Кулакова. Этот закон записывается в виде равенства нулю определителя Грама, элементами которого являются отношения (скалярные произведения) между 5 произвольными токами:

$$\Phi_{(5)} = \begin{vmatrix} \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{ik} & \tilde{u}_{ij} & \tilde{u}_{is} & \tilde{u}_{il} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{kj} & \tilde{u}_{ks} & \tilde{u}_{kl} \\ \tilde{u}_{ji} & \tilde{u}_{jk} & \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{js} & \tilde{u}_{jl} \\ \tilde{u}_{si} & \tilde{u}_{sk} & \tilde{u}_{sj} & \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{sl} \\ \tilde{u}_{li} & \tilde{u}_{lk} & \tilde{u}_{lj} & \tilde{u}_{ls} & \tilde{e}^2 \end{vmatrix} = 0, \quad (8)$$

где парные отношения в законе записываются в виде

$$\tilde{u}_{ik} = \tilde{e}_i \tilde{e}_k u_{(i)}^\mu u_{(k)\mu}. \quad (9)$$

Они характеризует вторую обобщенную физическую категорию реляционного подхода.

3. Обратим внимание на тот факт, что выражение в (2) записано для классических частиц с произвольными зарядами q_i , тогда как в (8) входят одинаковые по модулю заряды \tilde{e}_i идеализированных микрочастиц.

Чтобы получить в классическом принципе Фоккера произвольные заряды макротел, следует перейти от отношений между отдельными микрочастицами к суммам парных отношений элементарных частиц, составляющих два макрообъекта A и B . Поскольку достаточно разнесенные макрообъекты приближенно можно считать точечными (в классическом смысле), то все составляющие их идеализированные микрочастицы полагаются имеющими одинаковые скорости и одинаковые парные пространственно-временные отношения. Это значит, что при суммировании можно вынести за скобки скалярные произведения скоростей частиц и дельта-функцию, тогда процедура перехода к макрообъектам сводится к суммированиям по зарядам микрочастиц, составляющим эти объекты. Так приходим к зарядам двух макрообъектов:

$$\tilde{q}_A = \sum_{(i \in A)} \tilde{e}_i; \quad \tilde{q}_B = \sum_{(k \in B)} \tilde{e}_k. \quad (10)$$

Переходя от безразмерных зарядов \tilde{e} к известным элементарным зарядам электрона $e = \sqrt{\hbar c} |\tilde{e}|$ через размерные универсальные константы, получаем ранее записанное выражение для действия электромагнитного взаимодействия двух классических заряженных частиц.

2. Гравитация как следствие электромагнетизма

По аналогии с описанием прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия в работах ряда авторов была построена теория прямого межчастичного (линеаризованного) гравитационного взаимодействия. Напомним содержание этой теории, согласно работам ее авторов, а затем ее переформулируем на языке излагаемой здесь последовательной реляционной теории.

2.1. Прямое межчастичное гравитационное взаимодействие

Обобщение принципа Фоккера для линеаризованной гравитации, видимо, впервые было предложено в работах Я.И. Грановского и А.А. Пантюшина [11], а далее исследовалось многими другими авторами (см., например, [12]).

1. Для описания гравитационных взаимодействий нужно видоизменить вид действия (2) в принципе Фоккера, введя вместо токов взаимодействующих частиц их тензоры энергии-импульса, т. е. произведения их масс m_i на квадраты скоростей $u_{(i)}^\mu$:

$$S_{int}^{(g)}(i, k) = G \frac{m_i m_k}{c} \int \int u_{(i)}^\mu u_{(i)}^\nu (\eta_{\mu\alpha} \eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta} \eta_{\nu\alpha} - \eta_{\mu\nu} \eta_{\alpha\beta}) \times \\ \times u_{(k)}^\alpha u_{(k)}^\beta \delta(s^2(i, k)) ds_i ds_k. \quad (11)$$

Действие для системы гравитационно взаимодействующих частиц на фоне плоского пространства-времени записывается в виде суммы выражений (1), куда входят все взаимодействующие частицы и их парные комбинации.

2. Выделяя одну частицу с номером i , легко убедиться, что ее действие представляется в форме

$$S_i^{(g)} = -cm_i \int \left(1 - G \overset{0}{h}_{\mu\nu}(i) u_{(i)}^\mu u_{(i)}^\nu \right) ds_i, \quad (12)$$

где использовано обозначение для потенциалов гравитационного воздействия на частицу i со стороны частицы j

$$\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i, j) = \frac{m_j}{2c^2} \int \delta(s^2(i, j)) (\eta_{\mu\alpha} \eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta} \eta_{\nu\alpha} - \eta_{\mu\nu} \eta_{\alpha\beta}) u_{(j)}^\alpha u_{(j)}^\beta ds_j, \quad (13)$$

а также выражение для суммарного вклада $\overset{0}{h}_{\mu\nu}(i) = \sum_{j \neq i} \overset{0}{h}_{\mu\nu}(i, j)$ от всех частиц в месте нахождения частицы i .

3. Из действия (12) стандартными методами можно получить уравнения движения частицы i , которые можно представить в *форме уравнений геодезической линии в специально подобранной метрике риманова пространства-времени* (в первом порядке по G). Можно также показать, что в первом порядке по G *тождественно выполняются соотношения, соответствующие линеаризованным уравнениям Эйнштейна*.

4. Следует подчеркнуть, что прямое обобщение принципа Фоккера на случай гравитации приводит к приближенной эйнштейновской теории гравитации – в первом порядке разложения в ряды по гравитационной константе G . Но и этого оказалось достаточным для анализа приближенных уравнений движения сложных систем гравитирующих частиц, что было выполнено в группе К.А. Пирагаса и В.И. Жданова [12].

2.2. Гравитация в последовательном реляционном подходе

1. Зная теорию прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия и учитывая закон для ток-токовых отношений (8), можно взглянуть на теорию прямого межчастичного гравитационного взаимодействия под необычным углом зрения, раскрывающим внутреннее единство этих двух видов физических взаимодействий.

Для этого следует воспользоваться закономерностью, установленной в рамках реляционной теории пространственно-временных отношений – построением из миноров закона практически всех общепринятых геометрических понятий. Естественно ожидать проявления этой закономерности и в случае закона ток-токовых отношений (8).

2. Исходя из этого соображения, исследуем физический смысл простейшего диагонального минора второго порядка в определителе (8). Его можно трактовать как парное отношение двух

частиц i и k :

$$\begin{aligned} D_{ik}^{(2)} &= \begin{vmatrix} \tilde{e}^2 & \tilde{u}_{ik} \\ \tilde{u}_{ki} & \tilde{e}^2 \end{vmatrix} = \tilde{e}^4(1 - u_{ik}u_{ki}) = \\ &= -\frac{\tilde{e}^4}{2} u_{(i)}^\mu u_{(i)}^\nu (\eta_{\mu\alpha}\eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta}\eta_{\nu\alpha} - 2\eta_{\mu\nu}\eta_{\alpha\beta}) u_{(k)}^\alpha u_{(k)}^\beta, \end{aligned} \quad (14)$$

где $\eta_{\mu\nu}$ – опять метрический тензор пространства Минковского.

Легко видеть, что (14) очень напоминает подинтегральное выражение (11) в парном отношении двух гравитационно взаимодействующих частиц.

3. Поскольку здесь по-прежнему рассматриваются парные отношения двух элементов, то в выражении для гравитационного взаимодействия следует ожидать прежнее выражение для координатного парного отношения в виде дельта-функции (3).

4. Сравнение формул (14) и (11) выявляет два существенных различия. Во-первых, в формуле (14) вместо масс стоят квадраты электрических зарядов и, во-вторых, в формуле (14) в последнем слагаемом в круглых скобках стоит двойка вместо единицы в (11). Эти два отличия лежат в основе двух принципиально важных следствий реляционной трактовки гравитации.

5. Начнем с обсуждения первого различия. Так как теперь конформный фактор (электрический заряд) дает квадратичный вклад в множители перед скалярными произведениями скоростей, то эти множители могут принимать лишь положительные значения, в отличие от электрических зарядов в минорах первого порядка. Этот факт наводит на мысль положить, что **массы идеализированных микрочастиц пропорциональны квадратам их электрических зарядов**. Эта мысль подкрепляется введением тензорных потенциалов второго ранга $h_{\mu\nu}(i, k)$ в (13), аналогично тому как в случае электромагнитного взаимодействия вводился эффективный векторный потенциал $A_\mu(i, k)$ в (5).

6. Для определения масс идеализированных частиц введем безразмерную константу C_2 , пока имеющую смысл весового соотношения миноров первого и второго порядков в действии. Поскольку прообраз гравитационного действия должен быть пропорциональным произведению масс и ньютоновой гравитационной постоянной G , то при сделанном выводе о связи зарядов и масс имеем $G(m_i m_k)/c = C_2 e^4/(\hbar c^2)$. Полагая массы идеализированных микрочастиц одинаковыми, отсюда находим

$$m = \frac{\sqrt{C_2} e^2}{\sqrt{G \hbar c}} = \sqrt{C_2} \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right) \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{C_2} \gamma m_{Pl}, \quad (15)$$

где, напомним, $m_{Pl} \simeq 10^{-5}$ г – планковская масса, γ – постоянная тонкой структуры.

Таким образом, в данном подходе масса идеализированных микрочастиц определяется произведением постоянной тонкой структуры, планковской массы и квадратного корня из безразмерного весового вклада C_2 . Выбором весового коэффициента можно добиться любого значения массы идеализированной микрочастицы. Для случая нуклона следует положить $C_2 \simeq 10^{-38}$, а электрона $C_2' \simeq 10^{-41}$. Следовательно, весовой коэффициент C_2 играет роль перенормирующего фактора, переводящего значение массы, порядка планковской, в наблюдаемое значение. Это аналогично процедуре перенормировки планковских масс в многомерных геометрических моделях физических взаимодействий типа теории Калуцы.

7. Масса макротела должна рассматриваться как сумма масс составляющих тело микрочастиц (элементов), т. е., как и в случае электромагнитного взаимодействия, имеем

$$q_A = \sum_{(i \in A)} e_i \quad \leftrightarrow \quad m_A = \sqrt{\frac{C_2}{G \hbar c}} \sum_{(i \in A)} e_i^2. \quad (16)$$

Сумма квадратов, как известно, существенно отличается от квадрата суммы слагаемых, т. е. масса макротела всегда положительна и отлична от нуля даже в случае электрически нейтральных тел. В итоге имеем прообраз гравитационного действия (12).

8. Данные рассуждения касаются некоей упрощенной (идеализированной) модели взаимодействия макротел, которая может претендовать лишь на вскрытие закономерностей качественного характера. В рамках этой модели все идеализированные микрочастицы, составляющие макротела, имеют одинаковые массы, жестко связанные со значением элементарного электрического заряда (электрона). Это допустимо при рассмотрении классической теории, где несущественны детальные свойства составляющих их микрочастей, однако для построения реалистической теории элементарных частиц необходимо обобщить теорию на случай, во-первых, комплексных отношений и, во-вторых, на случай бинарных систем отношений.

9. Очевидно, что полученный результат соответствует линеаризованному варианту общей теории относительности. Для получения теории прямого межчастичного гравитационного взаимодействия, соответствующей главным выводам общей теории относительности, необходимо учесть диагональные миноры третьего и четвертого порядков.

3. Принцип Маха и космология

Полученный результат о вторичности гравитационных взаимодействий резко контрастирует с общепринятыми представлениями о самостоятельном характере гравитации. Однако сама идея о вторичности гравитации не является новой. Такой взгляд уже ранее высказывался в работах А.Д. Сахарова [13], однако на основе принципиально иных (не реляционных) соображений. Идея Сахарова затем была поддержана С.Л. Адлером [14] и некоторыми другими авторами.

Тем не менее, проведенные выше рассуждения могут показаться неубедительными по ряду причин. Во-первых, для многих представляется неожиданным само утверждение о вторичности гравитационных взаимодействий. Во-вторых, является необычным представление масс микрочастиц через квадрат их электрического заряда, и, в-третьих, естественно встает вопрос о физическом смысле нормирующего коэффициента C_2 и особенно о его указанных значений.

Предлагаются ответы на эти вопросы посредством учета третьей составляющей реляционного подхода – принципа Маха. Показывается, что нормирующий коэффициент C_2 определяется значениями глобальных параметров Вселенной. При этом подчеркивается, что представленные ответы соответствуют соображениям (гипотезам), высказанным с свое время классиками теоретической физики.

Поскольку принцип Маха трактуется как обусловленность локальных характеристик наблюдаемых объектов (систем) от глобальных свойств (характеристик) всего окружающего мира, то он неразрывно связан с космологией. Прежде всего следует определить, о каких глобальных характеристиках Вселенной должна идти речь. По этой причине начнем обсуждение данной проблемы с напоминания самых необходимых сведений из космологии.

Имеется достаточно оснований полагать, что одной из причин создания Эйнштейном статической космологической модели а затем неприятия им космологических моделей Фридмана явилось его желание иметь такую модель, в рамках которой можно реализовать принцип Маха. Очевидно, что в открытых космологических моделях Фридмана (с бесконечными пространственными сечениями в виде геометрий Евклида или Лобачевского) реализовать принцип Маха более чем проблематично. Приведем решение для плотности пылевидной материи и космологической постоянной в космологической модели Эйнштейна (см., например [15]):

$$\rho = \frac{2}{\kappa c^2 a^2} = \frac{2\Lambda}{\kappa c^2}; \quad \Lambda = \frac{1}{a^2}. \quad (17)$$

Из этих соотношений находим выражения для полной массы Вселенной M и для радиуса мира $R = a$:

$$M = \rho V = \frac{4\pi^2 a}{\kappa c^2} \rightarrow R = \frac{2GM}{c^2 \pi}, \quad (18)$$

Примечательно, что выражение

$$\pi R = \frac{2GM}{c^2}, \quad (19)$$

представляющее собой максимально удаленное расстояние между двумя точками на 3-мерной гиперсфере, совпадает со значением гравитационного радиуса в метрике Шварцшильда.

Изложенные сведения о статической космологической модели Эйнштейна, а также ряд современных астрофизических данных, позволяют опираться при обсуждении проявлений принципа Маха на значения радиуса наблюдаемой Вселенной $R \simeq 10^{28}$ см. и полной массы Вселенной, следующей из (18): $M \simeq 10^{55}$ г.

4. Синтез идей классиков и выводов реляционного подхода

Полученная формула (15) (и сопутствующей ей вывод о вторичной природе гравитационных взаимодействий) согласуется с рядом полуинтуитивных идей и догадок, высказанных классиками фундаментальной физики в первой половине XX века.

4.1. Идея Эддингтона о значении массы электрона

Еще в 30-х годах XX века А. Эддингтон (см. [16]) на основе свойств наблюдаемой части Вселенной оценил количество барионов в мире числом $N \simeq 10^{80}$, получившем в литературе название "число Эддингтона". Этот факт, конечно, соответствует принципу Маха, т. к. N связывает массу Вселенной M с массой m_p элементарных частиц – барионов:

$$m_p = \frac{M}{N}. \quad (20)$$

Кроме того, Эддингтоном также была записана формула для связи характеристики электрона с глобальными параметрами Вселенной

$$R \simeq r_e N^{1/2}, \quad (21)$$

где R - радиус Вселенной, N - число Эддингтона, $r_e = e^2/(m_e c^2)$ - классический радиус электрона. Легко видеть, что эта формула соответствует формуле (15). Более того, она позволяет ее уточнить и тем самым выразить массу электрона через характеристики Вселенной, а также найти введенный выше коэффициент C'_2 :

$$m_e = \frac{e^2 \sqrt{N}}{c^2 R} \rightarrow C'_2 \simeq \frac{NG\hbar}{c^3 R^2}. \quad (22)$$

Легко убедиться, что это выражение действительно определяет значение массы электрона.

Близкие соображения высказывал Г. Вейль, который в статье "Основные черты физического мира. Форма и эволюция" (1949 г.) обращал внимание на то, что отношение сил гравитационного притяжения двух электронов к силе электромагнитного отталкивания выражается через корень квадратный из числа Эддингтона:

$$Gm_e^2/e^2 \sim 10^{-41} = \epsilon. \quad (23)$$

При этом он писал: "Таким образом, мистический числовой фактор $\epsilon = 10^{-41}$ оказывается связанным с числом N (которое можно принять как случайное) зависимостью типа $\epsilon = 1/N^{1/2}$. Если сказанное принять всерьез, то отсюда следует, что сила притяжения двух частиц зависит от величины общей массы Вселенной! Эта идея является не столь уж странной, какой она кажется на первый взгляд. Э. Мах давным-давно попытался представить инерционную массу тела как результирующую всех масс, находящихся во Вселенной. Теория гравитации Эйнштейна не удовлетворяет постулату Маха, хотя последний исторически и сыграл определенную роль в разработке этой теории. Постулат Маха все еще ждет своей теории (не будет ли это статистическая теория гравитации, на которую вроде бы указывает квадратный корень в законе $\epsilon = 1/N^{1/2}$?). Итак, единственное, что мы можем пока сказать, – это то, что устройство мира зиждется на двух безразмерных числовых величинах α и ϵ , в тайну которых мы пока не проникли"[17, с. 348-349].

Последовательный реляционный подход позволяет вплотную приблизиться к разгадке этой тайны.

Вейль также склонялся к мысли о вторичном, по сравнению с электрическим зарядом, характере значения масс элементарных частиц. Так, в той же статье он писал: "Таким образом, масса элементарных частиц, видимо, носит менее изначальный и универсальный характер, чем их заряд".

Отметим также, что формула, подобная (22), приводилась в работах Г.В. Рязанова [18] и ряда других авторов.

4.2. Значение массы протона

Как известно, протоны наряду с электромагнитными также участвуют в сильных взаимодействиях. Как известно, эти два вида взаимодействий характеризуются своими безразмерными константами:

$$\frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137}, \quad \frac{g^2}{\hbar c} \simeq 14, \quad (24)$$

где первая константа – постоянная тонкой структуры характеризует электромагнитные взаимодействия, тогда как вторая характеризует сильные взаимодействия. Подчеркнем, что для второй константы обычно приводится приближенное значение.

Если в (22) выписана формула для массы электрона, фактически пропорциональная постоянной тонкой структуры, то логично допустить, что масса протона должна выражаться аналогичной формулой с заменой квадрата электрического заряда на g^2 :

$$m_p = \frac{g^2 \sqrt{N}}{c^2 R}. \quad (25)$$

Исходя из этого, можно получить отношение между массами протона и электрона:

$$\frac{m_p}{m_e} = \frac{g^2}{e^2} \simeq 14 \times 137 = 1918, \quad (26)$$

что близко к известному соотношению 1840, особенно если учесть, что значение заряда g в (24) указано приближенно.

К значению массы протона можно прийти исходя из еще одного любопытного совпадения, на которое указывал ряд авторов: отношения сил электромагнитного притяжения электрона и протона в атоме водорода к гравитационному выражается через корень квадратный из числа Эддингтона:

$$\frac{e^2}{2Gm_e m_p} \simeq \sqrt{N}, \quad (27)$$

В это приближенное соотношение коэффициент 2 введен, исходя из дальнейших соображений.

Подставим в (27) значение массы электрона из (22). В итоге получаем:

$$\frac{e^2}{2Gm_e m_p} = \frac{c^2 R}{2Gm_p \sqrt{N}} = \sqrt{N} \rightarrow R = \frac{2GM}{c^2}, \quad (28)$$

где введена масса наблюдаемой Вселенной $M = m_p N$. Таким образом приходим к известному выражению типа (19) для гравитационного радиуса Вселенной через его массу и гравитационную постоянную.

4.3. Уравнение Эддингтона

А. Эддингтон, написав формулы (20) и (21), попытался пойти дальше – получить из глобальных мировых констант соотношение между массами электрона и протона. Так, в его книге "Теория относительности" можно найти такое его соображение: "Применяя исчисления волновых

тензоров к другой проблеме, я получил, что масса m элементарной частицы (протона и электрона) определяется из квадратного уравнения

$$10m^2 - 136mm_0 + m_0^2 = 0, \quad (29)$$

где как он писал, m_0 зависит от соотношения числа Эддингтона и радиуса Вселенной. Далее говорилось: "Отношение двух корней уравнения (29) равно 1847,60; таким является, следовательно, теоретическое отношение масс протона и электрона. Коэффициенты 136, 10, 1 являются, соответственно, числом симметричных преобразований волнового вектора с двумя значками $\Psi_{\alpha\beta}$, простого волнового вектора Ψ_α и скаляра Ψ " [16, с. 488-489].

В настоящее время естественны вопросы относительно законности выбора коэффициентов в уравнении (29). Их можно обосновать, исходя из уже изложенных выше соображений. Для этого представим уравнение (29) в виде произведения двух слагаемых:

$$(m - m_e)(m - m_p) = m^2 - (m_e + m_p)m + m_em_p = 0, \quad (30)$$

где m_e и m_p два решения квадратного уравнения, соответствующие значениям масс электрона и протона. Полагая, что масса электрона много меньше массы протона, из этого уравнения находим:

$$m_p \simeq \frac{136}{10}m_0; \quad m_em_p = \frac{m_0^2}{10} = \frac{10}{(136)^2}m_p^2 \rightarrow m_e = m_p \frac{10}{(136)} \frac{1}{136} \simeq m_p \frac{1}{14} \left(\frac{e^2}{\hbar c} \right). \quad (31)$$

В итоге получилось соотношение между массами электрона и протона (25), полученное ранее из совершенно иных соображений. Кроме того, из этих соотношений следует выражение для массы протона (29).

Приведенные в предыдущем разделе выкладки позволяют в какой-то степени обосновать коэффициенты в уравнении Эддингтона (29), если учесть, что

$$\frac{136^2}{10} = 136 \times 13,6 \longleftrightarrow 137 \times 14. \quad (32)$$

4.4. Гипотеза Дирака

Вопрос об обосновании глобальными свойствами Вселенной соотношения сил электромагнитных и гравитационных взаимодействий волновал также П.А.М. Дирака. Так, он в своей лекции "Космология и гравитационная постоянная прочитанной в 1975 году, говорил: "Рассмотрим атом водорода, который состоит из электрона и протона. Сила их электрического взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. То же самое относится и к гравитационному взаимодействию. Можно составить отношение электростатической силы к гравитационной. Оно будет безразмерной величиной, не зависящей от расстояния. Таким образом, мы приходим к выражению

$$e^2/Gm_em_p, \quad (33)$$

где e – заряд электрона (или протона), G – гравитационная постоянная. Если вычислить это значение, то получится гигантское число, равное приблизительно $2 \cdot 10^{39}$. Как и другие безразмерные физические постоянные, это число должно быть объяснено. Можно ли хотя бы надеяться придумать теорию, которая объяснит такое огромное число? Его нельзя разумно построить, например, из 4π и других простых чисел, которыми оперирует математика!" [19, с. 178-179].

Однако Дирак, в отличие от Вейля, Эддингтона и Рязанова, попытался связать это число с возрастом Вселенной, которую он трактовал описываемой не статической моделью Эйнштейна, а закрытой космологической моделью Фридмана.

Как известно, эта модель Фридмана является одним из трех вариантов однородных изотропных космологических решений уравнений Эйнштейна, в котором отсутствует космологическая постоянная Λ , и, кроме того, в ней отсутствует условие статичности. Это приводит к тому, что

параметр a в закрытой модели Фридмана оказывается зависящим от времени. Пространственное сечение в этой модели описывается по-прежнему замкнутой 3-мерной метрикой Римана, однако радиус этого мира зависит от времени τ следующим образом:

$$a = a_0(1 - \cos x^0); \quad \tau = a_0(x^0 - \sin x^0), \quad (34)$$

где x^0 - параметр эволюции, a_0 - максимальное значение радиуса мира. Выражение (34) представляет собой описание эволюции замкнутой Вселенной в виде циклоиды от точечной сингулярности ("начала"мира) до максимального значения радиуса a_0 и затем сжатия опять до сингулярного состояния.

Легко показать, что в данной космологической модели опять сохраняется суммарное значение массы $M = const$, а также можно говорить о радиусе мира, однако теперь он является переменной величиной. Таким образом, в закрытой космологической модели Фридмана по-прежнему можно говорить о проявлениях принципа Маха. Это фактически и имел в виду Дирак в своих лекциях.

Он писал: "Итак, мы заговорили о возрасте Вселенной. Понять что это такое можно с помощью постоянной Хаббла, которая связывает скорость удаления космических объектов с расстоянием до них. Хаббл обнаружил, что скорость удаления пропорциональна расстоянию. Он смог точно проверить этот закон лишь для ближайших объектов, но закон настолько хорошо выполнялся, что его стали считать справедливым и на больших расстояниях. По отношению скорости удаления к расстоянию можно определить, когда в прошлом все вещество было первоначально сконцентрировано в очень маленьком объеме. Так мы получим возраст Вселенной. Подобная оценка содержит много неточностей, которые связаны с неточным измерением расстояний до очень далеких объектов. Последняя оценка дает примерно $t = 18 \cdot 10^9$ лет.

Это число выражено в годах, т. е. в весьма искусственных единицах измерения времени. Можно пользоваться другой единицей времени из атомной физики. Примем в качестве единицы, например, то время, за которое свет проходит сквозь классический электрон: $e^2/m_e c^2$. Выразив t в этих единицах, получим

$$t = 7 \cdot 10^{39} \frac{e^2}{m_e c^3}, \quad (35)$$

что по порядку совпадает с предыдущим большим числом ($2 \cdot 10^{39}$). "Это совершенно удивительное совпадение – скажете вы. Но я так не считаю. Я думаю, должно существовать какое-то фундаментальное объяснение того, что значения двух больших величин так близки. Причину этого мы не знаем, нам пока не удастся ее разгадать, но когда появится больше сведений об атомной физике и космологии, разгадка будет найдена"[19, с. 179-180].

Дирак на основе данного совпадения этих двух чисел высказал гипотезу об изменении фундаментальных физических констант в связи с хаббловским расширением Вселенной¹.

Приведенные выше формулы, выражающие зависимости масс электрона и протона от глобальных характеристик Вселенной M и R , в рассуждениях Дирака по-прежнему сохраняют силу, однако при этом массы элементарных частиц и другие физические константы должны изменяться в процессе эволюции Вселенной.

5. Обоснование свободного действия

Обсудим второй фактор, различающий выражения (14) и (11) – коэффициенты перед третьими слагаемыми в круглых скобках. Опять сначала это сделаем в рамках последовательного реляционного подхода, а затем в качестве подтверждения приведем идеи, ранее высказанные Ф. Хойлом и Дж. Нарликарром.

¹ Автор был свидетелем того, как в 1962 году на третьей международной гравитационной конференции в Варшаве (Яблонне) профессор Д.Д. Иваненко в своем докладе, затронув эту гипотезу Дирака, обратился к сидевшему в первом ряду П.А.М. Дираку с вопросом, продолжает ли он придерживаться этой гипотезы? На что Дирак четко ответил, что "Да, придерживаюсь".

5.1. Реляционное обоснование свободного действия

1. Выпишем полное действие, используемое в работах по прямому межчастичному гравитационному взаимодействию:

$$S^{(g)} = -c \sum_a m_a \int ds_a + \frac{G}{2c} \sum_a \sum_{b \neq a} m_a m_b \int \int u_{(a)}^\mu u_{(a)}^\nu (\eta_{\mu\alpha} \eta_{\nu\beta} + \eta_{\mu\beta} \eta_{\nu\alpha} - \eta_{\mu\nu} \eta_{\alpha\beta}) u_{(b)}^\alpha u_{(b)}^\beta \delta(s^2(a, b)) ds_a ds_b, \quad (36)$$

где к выражению (11) добавлено действие свободных частиц. Аналогичное добавление делалось и в теории прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия. При этом указывалось, что в последовательном реляционном подходе требуется обоснование этого слагаемого.

Здесь и далее будем формально писать дельта-функцию, как это принято в теории Фоккера–Фейнмана, однако при этом будем помнить, что за ней кроется ее реляционный дубликат.

2. Предлагается обоснование свободного действия именно различием названных коэффициентов. Действительно, оставляя в (11) лишь третье слагаемое с коэффициентом 1, имеем:

$$S_{free}(a) = -c m_a \int ds_a = -\frac{G m_a}{c} \sum_{b \neq a} m_b \int \int \delta(s^2(a, b)) ds_a ds_b. \quad (37)$$

Здесь учтено, что в этом слагаемом фактически записаны квадраты скоростей взаимодействующих частиц, равные, по определению, единице.

Учитывая, что в определении дубликата дельта-функции неявно входит расстояние между выделенной и другой частицей, это выражение можно трактовать как отношение некой эффективной полной массы Вселенной M к ее наблюдаемому размеру (радиусу) R_g :

$$\sum_{b \neq a} m_b \int \delta(s^2(a, b)) ds_b = \frac{2M}{R_g}. \quad (38)$$

3. Записанное выражение очень напоминает выражение для гравитационного радиуса в метрике Шварцшильда. Однако в данном случае это выражение имеет совершенно иной характер, соответствующий свойствам закрытых моделей Вселенной. Его следует трактовать как определение гравитационной постоянной G :

$$\sum_{b \neq a} m_b \int \delta(s^2(a, b)) ds_b = \frac{2M}{R_g} = \frac{c^2}{G} \rightarrow R_g = \frac{2MG}{c^2}. \quad (39)$$

4. Таким образом, получившееся в реляционном подходе дополнительное слагаемое обуславливает появление в лагранжиане слагаемых, описывающих движение "свободных" частиц. Эти слагаемые возникают из взаимодействия выделенных частиц со всеми частицами окружающего мира (Вселенной) в духе принципа Маха. **"Свободная" часть в действии представляет собой лишь завуалированное суммирование взаимодействия выделенной частицы со всем окружающим миром.**

5.2. Гипотеза Хойла и Нарликара

Изложенное выше тесно связано с соображениями английского физика-теоретика Ф. Хойла и его сотрудника Дж. Нарликара, бывших в середине XX века наиболее видными приверженцами принципа Маха.

Предложенная ими теория [20] была нацелена на непосредственную реализацию принципа Маха в понимании А. Эйнштейна. Они предлагали обосновать значение массы частицы непосредственно в "свободном" действии этой частицы. Так, обозначив произвольную выделенную частицу

индексом i , они записывали ее "свободное" действие в виде

$$S_i = -m_i \int ds_i = -\lambda_i \sum_{k \neq i} \lambda_k \int \int G(x_i, x_k) dx_i dx_k, \quad (40)$$

где λ_i и λ_k – некие вещественные постоянные, определяющие массовые вклады отдельных частиц, а $G(x_i, x_k)$ – функция Грина, удовлетворяющая дифференциальному уравнению:

$$\left(g^{\mu\nu}(x_i) \nabla_\mu \nabla_\nu - \frac{1}{6} R(x_i) \right) G(x_i, x_k) = \delta^{(4)}(x_i, x_k) / \sqrt{-g}. \quad (41)$$

Здесь $R(x_i)$ – скалярная кривизна в месте расположения частицы i .

Заметим, что в выражениях для действия Фоккера роль функции Грина играла дираковская дельта-функция, которая также удовлетворяла аналогичному дифференциальному уравнению, однако в плоском пространстве-времени.

Таким образом в этом подходе массу выделенной частицы предлагалось, как и в предыдущем разделе, определять суммой вкладов всех других частиц окружающего мира.

Теория Хойла и Нарликара имела ряд недостатков, после устранения которых, она оказывается соответствующей последовательному реляционному подходу.

Во-первых, эта теория имеет эклектичный характер, – в ней производится смешение понятий двух метафизических парадигм: геометрической и реляционной. Она представляет собой теорию прямого межчастичного скалярного взаимодействия на фоне уже заранее искривленного пространства-времени, что её существенно отличает от последовательного реляционного подхода.

Во-вторых, в теории Хойла и Нарликара прямое скалярное взаимодействие вводится волевым образом, тогда как в последовательном реляционном подходе оно возникает автоматически из прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия. Конечно, этот ход мысли Хойла и Нарликара вполне соответствовал пониманию проблемы Эйнштейном, однако затем нужно было решать вопросы описания прямых межчастичных электромагнитных и гравитационных взаимодействий, что в их подходе требовало дополнительных постулатов. А в последовательном реляционном подходе в основу клалась теория прямого межчастичного электромагнитного взаимодействия, а из нее уже автоматически следовали прямые межчастичные гравитационное и скалярное взаимодействия.

В-третьих, естественно возникал вопрос о значениях параметров λ_i , на который авторами не было дано окончательного ответа. Понимая это, Хойл и Нарликар при конкретных вычислениях полагали эти параметры равными единице, что вызывало ряд дополнительных вопросов.

В последовательной реляционной теории фактически роль параметров λ_i играют квадраты электрических зарядов элементарных частиц $\lambda_i \rightarrow e_i^2$, тогда естественным образом из суммы (вместо интеграла в правой части (40)) по всем частицам окружающего мира возникает прежнее выражение для массы частицы. При этом происходит обоснование, во-первых, пропорциональности массы частицы квадрату её электрического заряда e_i^2 , во-вторых, возникновения радиуса мира R в знаменателе (это обусловлено определением дельта-функции в (3)) и, в-третьих, становится естественным появление в числителе зависимости от числа Эддингтона.

Заключение

Исходя из изложенного, можно сделать следующие выводы принципиального характера.

1. Первый из них состоит в определяющей роли именно электромагнитных взаимодействий. Вывод о ведущей роли электромагнитных взаимодействий в описании окружающего нас мира согласуется с мнением Эрнста Маха, который писал: "Среди всех процессов наиболее глубоко проникают в природу, по-видимому, процессы электромагнитные, и надо надеяться, что они создадут в будущем основу единой физики"[21, с. 446].

2. Чрезвычайно важным результатом является вывод, что **гравитационные взаимодействия являются производными от электромагнитных взаимодействий**. Этот факт вскрывает неразрывное единство электромагнитных и гравитационных взаимодействий. Это явно ощущали создатели общей теории относительности. Так, Гильберт при написании уравнений Эйнштейна строил именно объединенную теорию гравитации и электромагнетизма. В его варианте уравнений Эйнштейна в правой части писался вклад от электромагнетизма.

Похожую точку зрения отстаивал Герман Вейль. В своей статье "Гравитация и электричество" обсуждая проблему объяснения не только гравитационных, но и электромагнитных явлений, он писал: "И у тех и у других в возникающей таким образом теории оказывается один и тот же источник, причем, *вообще говоря, гравитацию и электричество даже нельзя произвольно отделять друг от друга*" (Курсив Г. Вейля) [22, с. 545]. Однако Вейль шел к построению объединенной теории иным путем – на основе обобщения процедуры параллельного переноса смещений.

Поиску решения проблемы объединения гравитации и электромагнетизма Эйнштейн посвятил значительную часть своей жизни. В частности, он писал: "Теперь особенно живо волнует умы проблема единой природы гравитационного и электромагнитного полей. Мысль, стремящаяся к единству теории, не может примириться с существованием двух полей, по своей природе совершенно независимых друг от друга" [23, с. 127]. Однако, Эйнштейн мыслил решение этой проблемы в рамках геометрической парадигмы, тогда как в данной главе предложено ее решение в рамках реляционной парадигмы.

3. Как уже отмечалось, А. Эйнштейн, создавая общую теорию относительности, мыслил в русле идей реляционной парадигмы и, в частности, концепции дальнего действия. Исходя из изложенного, можно сожалеть, что А. Эйнштейн в свое время отрекся от реляционных взглядов Эрнста Маха.

Есть достаточно оснований полагать, что **физика XX века могла бы развиваться на основе реляционного подхода**. Этого не случилось из-за ряда обстоятельств как субъективного, так и объективного характера. Видимо, главным был психологический фактор. Исследователям казался более привычным и естественным способ рассуждений на основе концепции близкого действия, а факторы, которые могли бы заставить их пересмотреть устоявшиеся представления не оказались в центре внимания.

4. Но самое главное состояло в том, что для развития реляционного подхода нужен был подходящий для этого математический аппарат, начала которого, как уже отмечалось, были заложены лишь в конце 60-х годов XX века в работах по теории физических структур Ю.И. Кулакова и Г.Г. Михайличенко.

5. В изложенном в данной статье материале, с одной стороны, приведено подтверждение выводов последовательной реляционной теории соображениями великих мыслителей прошлого: А. Эйнштейна, Г. Вейля, А. Эддингтона, П.А.М. Дирака и других, а, с другой стороны, предложено реляционное обоснование их полуинтуитивных соображений.

6. В данной статье обсуждены вопросы реляционного обоснования геометрии и классической физики и вытекающие из этого следствия. Более глубокое обоснование современных представлений о физической реальности опирается на теорию бинарных систем комплексных отношений, основные представления о которой были изложены в ряде наших публикаций, например, в [24].

Список литературы

1. Грин Б. *Элегантная Вселенная. Суперструны, скрытые размерности и поиски окончательной теории*. М.: Едиториал УРСС, 2004.
2. Smolin L. *Three Roads to Quantum Gravity*. New York: Basic Books, 2002.
3. Ровелли Карло. *Нереальная реальность. Путешествие по квантовой петле*. СПб.: Питер, 2020.

4. Эйнштейн А. Относительность и проблема пространства. // Собр. научн. трудов. Т.2. М.: Наука, 1966, с. 744–759.
5. Природа электрического тока. (Беседы-диспут в Ленинградском политехническом институте). М.-Л.: Изд-во Всесоюзного электротехнического общества. 1930.
6. Дикке Р. Многоликий Мах // Сб. "Гравитация и теория относительности". М.: Мир, 1962.
7. Владимиров Ю.С., Турыгин А.Ю. *Теория прямого межчастичного взаимодействия*. М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Владимиров Ю.С. *Метафизика и фундаментальная физика. Книга 2-я. Три дуалистические парадигмы XX века*. М.: ЛЕНАНД, 2017.
9. Владимиров Ю.С. *Реляционная концепция Лейбница-Маха*. М.: ЛЕНАНД, 2017. 232 с.
10. Кулаков Ю.И. *Элементы теории физических структур*. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 1968.
11. Грановский Я.И., Пантюшин А.А. К релятивистской теории тяготения. *Изв. АН Каз. ССР, сер. физ.-мат.*, 1965. № 2. С. 65–69.
12. Пирагас К.А., Жданов В.И., Александров А.Н., Пирагас Л.Е. *Качественные и аналитические методы в релятивистской динамике*. М.: Энергоатомиздат, 1995.
13. *Академик А.Д. Сахаров Научные труды*. М.: АОЗТ "Издательство ЦентрКом 1995. 528 с.
14. Адлер С.Л. А.Д. Сахаров и индуцированная гравитация. *Природа*, 1990. № 8. С. 62–66.
15. Владимиров Ю.С. *Реляционная картина мира. Книга 1. Реляционная концепция геометрии и классической физики*. М.: ЛЕНАНД, 2020.
16. Эддингтон А.С. *Теория относительности*. Л.-М.: ОНТИ, Гос. тех.-теорет. изд-во, 1934; 3-е изд. М.: КомКнига/URSS, 2007.
17. Вейль Г. Основные черты физического мира. Форма и эволюция // Г. Вейль. Избранные труды. Математика. Теоретическая физика. М.: Наука, 1984, с. 345–360.
18. Рязанов Г.В. Неожиданные следствия из дальнего действия в электродинамике // Сб. тезисов 1-й Ионовской школы-семинара по основаниям теории физического пространства-времени. М.: Изд-во физ. фак-та МГУ имени М.В. Ломоносова, 1995. С. 39–41.
19. Дирак П.А.М. Лекция. Космология и гравитационная постоянная // П.А.М. Дирак. Воспоминания о необычной эпохе. М.: Наука, 1990. С. 178–188.
20. Hoyle F., Narlikar J.V. *Action at a distance in physics and cosmology*. San Francisco: W.N. Freeman and Comp., 1974.
21. Мах Э. *Механика. Историко-критический очерк ее развития*. Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2000.
22. Вейль Г. Гравитация и электричество // Сб. "Альберт Эйнштейн и теория гравитации". М.: Мир, 1979. С. 513–528.
23. Эйнштейн А. Основные идеи и проблемы теории относительности. // Собр. научн. трудов. Т.2. М.: Наука, 1966, с. 120–129.
24. Владимиров Ю.С. Реляционные основания теории пространства-времени и взаимодействий. *Пространство-время и фундаментальные взаимодействия*. 2015. № 4 (13). С. 57–74.

References

1. Green B. *The elegant universe. Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. Vintage Books. A Division of Random House. Inc. New York.
2. Smolin L. *Three Roads to Quantum Gravity*. New York: Basic Books, 2002.
3. Rovelli C. *Reality is not what it seems. The Journey to Quantum Gravity*. Laba Media Publ., 2016.
4. Einstein A. Relativity and problem of space. *Sobr. nauchn. trudov*. Moscow, Nauka Publ., 1966, vol. 2, pp. 744–759. (In Russian)
5. Nature of electrical current. (Talk-debate in Leningrad politechnical institute). М.-Л.: Izd. Vsecoyuzn. Electrotehn. Obchestvo. 1930. (In Russian)
6. Dicke R.H. Many-sided Mach. *Collection "Gravitation and relativity"*. Moscow, Mir Publ., 1962. (In Russian)

7. Vladimirov Yu.S., Turigin A.Yu. *Theory of action-at-a-distance*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. (In Russian)
8. Vladimirov Yu.S. *Metaphysics and fundamental physics. Book 2. Three dualistic paradigms of XX century*. Moscow, LENAND Publ., 2017. (In Russian)
9. Vladimirov Yu.S. *Relational concept of Leibniz-Mach*. Moscow, LENAND Publ., 2017. (In Russian)
10. Kulakov Yu.I. *Elements of physical structure theory*. Novosibirsk, Novosib. University Publ., 1968. (In Russ.)
11. Granovski Ya.I., Pantyushin A.A. To Relativistic theory of gravitation. *Izvest. AN Kaz.SSR, ser. Phys.-math.*, 1965, no. 2, pp. 65–69. (In Russian)
12. Piragas K.A., Jdanov V.I., Aleksandrov A.N., Piragas L.E. *Qualitative and analytical methods in relativistic dynamics*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1995. (In Russian)
13. *A.D. Sacharov Nauchnie trudi*. Moscow, ZentrKom Publ., 1995. (In Russian)
14. Adler S.L. A.D. Sacharov and induce gravitation. *Priroda*, 1990, no. 8, pp. 62–66. (In Russian)
15. Vladimirov Yu.S. *Relational picture of world. Book 1. Relational concept of geometry and classical physics*. Moscow, LENAND, 2020. (In Russian)
16. Eddington A.S. *The mathematical theory of relativity*. Cambridge. At the University Press, 1924.
17. Weil H. Gravitation and Electricity. *Sitzungsber. D. Berl. Akad.*, 1918, p. 465.
18. Ryazanov G.V. Unexpected consequences from action-at-a-distance in electrodynamics. Thesis of 1 Ionov. school-seminar. *Foundations of physical space-time*. Moscow, Moscow state university Publ., 1995, pp. 39–41. (In Russian)
19. Dirack P.A.M. *Recollections of an Exciting Era*. Moscow, Nauka Publ., 1990. pp. 178–188. (In Russian)
20. Hoyle F., Narlikar J.V. *Action at a distance in physics and cosmology*. San Francisco, W.N. Freeman and Comp., 1974.
21. Mach E. *Mechanics*. Izhevsk, Izhevskaya resp. printing-house, 2000. (In Russian)
22. Weil H. *Gravitation and Electricity*. "Albert Einstein and theory of gravitation". Moscow, Mir, 1979, pp. 513–528.
23. Einstein A. Basis ideas and problems of general relativity. *Sobr. Nauchn. trudov*, vol.2, Moscow, Nauka, 1966, pp. 120–129. (In Russian)
24. Vladimirov Yu.S. Relational foundations of space-time and theory of interactions. *Space-time and fundamental interactions*, no. 4 (13), 2015, pp. 57–74.

Авторы

Владимиров Юрий Сергеевич, профессор, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической физики, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 2, г. Москва, 119991, Россия; Институт гравитации и космологии РУДН, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, г. Москва, 117198, Россия.
E-mail: yusvlad@rambler.ru

Пробьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Владимиров Ю. С. Электромагнетизм, гравитация и принцип Маха. *Пространство, время и фундаментальные взаимодействия*. 2020. № 1. С. 22–38.

Authors

Vladimirov Yuriy Sergeevich, Professor, Doctor of Physics and Mathematics, professor at the Department of Physics, Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1-2, Moscow, 119991, Russia; Institute of Gravitation and Cosmology, RUDN University, Miklukho-Maklaya str. 6, Moscow, 117198, Russia.
E-mail: yusvlad@rambler.ru

Please cite this article in English as:

Vladimirov Yu. S. Electromagnetism, gravitation and Mach's principle. *Space, Time and Fundamental Interactions*, 2020, no. 1, pp. 22–38.